1. Thermodynamik

Längenausdehnung: $L(T_C) = L(0) \cdot (1 + \alpha \cdot T_C)$

Volumenausdehnung: $V(T_C) = V(0) \cdot (1 + \gamma \cdot T_C)$
$\gamma = 3 \cdot \overline{\alpha}\ ,\ \ \varrho = \frac{m}{V}$

Wärmeaustausch: $\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta T$

Wärmeleitung:

1D-Wärmeleitungsgleichung ($T \propto x$)

$$\frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t} = -\lambda \cdot A \cdot \frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}x}$$

allgemeine Wärmeleitgleichung

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\varrho \cdot c} \cdot \Delta T$$

ideale Gase:

ideale Gasgleichung: $p \cdot V = n \cdot R \cdot T = N \cdot k_B \cdot T$

spezifische Molwärmen: $C_V = \frac{1}{2} \cdot f \cdot R,\ C_p = C_V + R$

Freiheitsgrade: $f = f_{\text{trans}} + f_{\text{rot}} + (f_{\text{vib}})$

innere Energie: $U = \frac{1}{2} \cdot n \cdot f \cdot R \cdot T$

1. Hauptsatz: $\mathrm{d}U = \delta Q + \delta W \quad | \quad \mathrm{d}U = \delta Q - p\mathrm{d}V$

Isochorer Prozess: $\mathrm{d}U = \delta Q = C_V \cdot \mathrm{d}T,\qquad pT^{-1} = \text{const.}$

Isobarer Prozess: $\delta Q = \mathrm{d}U + p\mathrm{d}V = C_p \cdot \mathrm{d}T = \mathrm{d}H,\qquad VT^{-1} = \text{const.}$

Isothermer Prozess: $\mathrm{d}U = 0 = -p \cdot \mathrm{d}V + \delta Q,\qquad p \cdot V = \text{const.}$

Adiabatischer Prozess: $\delta Q = 0,\qquad \mathrm{d}U = -p \cdot \mathrm{d}V = C_V \cdot \mathrm{d}T,\ \kappa = C_p/C_V,\ p \cdot V^\kappa = \text{const.}$

thd. Wirkungsgrad: $\eta = \frac{-W}{Q_{zu}} = \frac{\text{geleistete Arbeit}}{\text{zugeführte Wärme}}$

Carnot-Prozess: $\eta_C = 1 - \frac{T_{\text{kalt}}}{T_{\text{heiß}}} = 1 - \frac{Q_{\text{kalt}}}{Q_{\text{heiß}}} < 1$

Entropie:

Definitionen: $\Delta S = k_B \cdot \ln \frac{\Omega_2}{\Omega_1},\ \mathrm{d}S = \frac{\delta Q_{\text{rev}}}{T}$

reale Gase:

Van-der-Waals ZuGl.: $\left(p + \frac{a}{V_m^2}\right) \cdot (V_m - b) = R \cdot T$

Clausius-Clapeyron-G.: $\Lambda_m = T \cdot \frac{\mathrm{d}p_s}{\mathrm{d}T} \cdot (V_D - V_{Fl})$

Dampfdruckkurve: $p_s(T) = p_0 \cdot \exp\left[-\frac{\Lambda_m}{R} \cdot \left(\frac{1}{T_0 - T}\right)\right]$

Raoultsches Gesetz: $\Delta T = \frac{R \cdot T^2}{\Lambda_{\text{Sieden}}} \cdot \frac{\nu_{\text{gelöst}}}{\nu_{\text{Lösungsmittel}}}$

2. Elektrizitätslehre

Maxwell-Gleichungen:

$$\mathrm{rot}\vec{E} = -\frac{\partial B}{\partial t},\quad \mathrm{div}\vec{B} = 0,\quad \mathrm{rot}\vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t},\quad \mathrm{div}\vec{D} = \varrho$$

Dielektische Verschiebung $\vec{D}$ und das $\vec{H}$-feld: $\vec{D} = \varepsilon_r\varepsilon_0 \cdot \vec{E},\ \chi + 1 = \varepsilon_r,\ \vec{B} = \mu_0\mu_r \cdot \vec{H},\ \chi_m + 1 = \mu_r$

Elektrostatik	**Magnetostatik**
elektrischer Fluss:	magnetischer Fluss:
$\Phi_{el} = \int \vec{E} \bullet \mathrm{d}\vec{A}$	$\Phi_m = \int \vec{B} \bullet \mathrm{d}\vec{A}$
$\Phi_{el}^{\text{geschlossen}} = \oiint \vec{E} \bullet \mathrm{d}\vec{A} = \frac{Q}{\varepsilon_0} = \varepsilon_0^{-1} \int_V \varrho(r)\mathrm{d}V$	$\Phi_m^{\text{geschlossen}} = \oiint \vec{B} \bullet \mathrm{d}\vec{A} = 0$
elektrisches Potential:	magnetisches Potential, Ampèresches Gesetz:
$\oint \vec{E} \bullet \mathrm{d}\vec{s} = 0$	$\oint \vec{B} \bullet \mathrm{d}\vec{s} = \mu_0 I \quad , \quad \mathrm{rot}(\vec{B}) = \mu_0 \mathbf{j}$
$\varphi(P) = \int_r^\infty \vec{E} \bullet \mathrm{d}\vec{s}$	Vektorpotential:
$U = \int_r^\infty \vec{E} \bullet \mathrm{d}\vec{s} = \varphi(P_1) - \varphi(P_2)$	$\vec{B} = \mathrm{rot}\vec{A}, \quad \mathrm{div}\vec{A} = 0$
$W = Q \cdot U$	$\mathrm{d}\vec{A} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{\vec{j}(\vec{r})\,\mathrm{d}V_2}{r_{1,2}} \overset{\text{dünner Leiter}}{=} \frac{\mu_0 \cdot I}{4\pi} \cdot \frac{\mathrm{d}s_1}{r_{1,2}}$
$\vec{E} = -\mathrm{grad}(\varphi)$	Biot-Savart-Gesetz:
$\frac{\varrho}{\varepsilon_0} = -\Delta\varphi$	$\mathrm{d}\vec{B}(\vec{r}_1) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\vec{j}(\vec{r}_2) \times \widehat{e}_{1,2}}{r_{1,2}^2}\,\mathrm{d}V \overset{\text{dünner L.}}{=} \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{\mathrm{d}\vec{s} \times \vec{r}_{1,2}}{r_{1,2}^3}$

Hall-Spannung:

$$U_H = \int \vec{E}_H \mathrm{d}\vec{s} = \vec{E}_H \bullet \vec{b}, \qquad \vec{F} = q \cdot \vec{E}_H = -q \cdot (\vec{v} \times \vec{B}), \qquad U_H = -\frac{(\vec{j} \times \vec{B}) \bullet \vec{b}}{n \cdot q} = -\frac{I \cdot B}{n \cdot q \cdot d}$$

Coulomb Kraft:	Lorentzkraft:
$\vec{F}_C = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \cdot \widehat{r}$	$\vec{F}_L = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$
$\vec{F} = q \cdot \vec{E}$	Leiter: $\vec{F} = \int (\vec{j} \times \vec{B})\mathrm{d}V \overset{\substack{\text{gerade} \\ \text{homogen}}}{=} I \cdot L \cdot B \cdot \sin\angle(\vec{B}, \vec{\mathrm{d}L})$
elektrischer Dipol:	magnetischer Dipol:
$\vec{p} = Q \cdot \vec{d}$	$\vec{p}_m = I \cdot \vec{A}$
im homogenen Feld:	im homogenen Feld:
$\vec{D} = \vec{p}_{el} \times \vec{E}, \quad W_{pot} = \vec{p}_{el} \bullet \vec{E}$	$\vec{D} = \vec{p}_m \times \vec{B}, \quad W_{pot} = \vec{p}_m \bullet \vec{B}$
im inhomogenen Feld:	im inhomogenen Feld:
$\vec{F} = \vec{p}_{el} \cdot \mathrm{grad}\vec{E}$	$\vec{F} = \vec{p}_m \cdot \mathrm{grad}\vec{B}$
Energie des $\vec{E}$-Feldes:	Energie des $\vec{B}$-Feldes:
$W_{el} = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} C \cdot U^2 = w_{el} \cdot V$	$W_{mag} = \frac{1}{2} L \cdot I^2, \quad w_{mag} = \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu_0}$
Dielektrikum im $\vec{E}$-Feld:	Dielektrikum im $\vec{B}$-Feld:
$C_{Diel} = \varepsilon \cdot C_{Vak} = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$	
elektrische Feldenergiedichte im Dielektrikum:	
$w_{el} = \frac{1}{2} \vec{E} \bullet \vec{D}$	
Kraft auf Dielektrikum im Kondensator:	Kraft auf Material im $\vec{B}$-Feld:
$F_Q = \frac{1}{2}(\varepsilon - 1)\varepsilon_0 \cdot \frac{b\,U^2}{d}, \quad F_U = \frac{1}{2}\frac{(\varepsilon - 1)}{\varepsilon\,\varepsilon_0} \cdot \frac{Q^2}{d\,b}$	$\vec{F} = \frac{\chi}{\mu_0} \cdot \vec{B} \cdot V \cdot \mathrm{grad}\vec{B}$
Steighöhe in den Plattenkondensator:	
$\Delta W_{mech} = \Delta W_{el}, \quad h = \varepsilon_0 \cdot \frac{\varepsilon - 1}{2 \cdot \varrho_{Fl} \cdot g} \cdot E^2$	

Zeitlich veränderliche Magnetfelder:

Induktionsgesetz:	$U_{ind} = -\frac{\mathrm{d}\Phi_m}{\mathrm{d}t} = -\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\int \vec{B} \bullet \mathrm{d}\vec{A}$
Selbstinduktion:	$U_{ind} = -L \cdot \frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}L}$
gegenseitige Ind.:	$L_{1,2} = L_{2,1} = \frac{\mu_0}{4\pi}\int_{s_1}\int_{s_2}\frac{\mathrm{d}\vec{s}_1 \bullet \mathrm{d}\vec{s}_2}{r_{1,2}}$

Gleichstrom:

Plattenkondensator:	$Q = C \cdot U = \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{d}, \qquad \vec{E} = \frac{U}{d}$
elektrischer Strom:	$I = \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}t} = \int_A \vec{j}\,\mathrm{d}\vec{A}, \qquad \vec{j} = n \cdot q \cdot \vec{v} = \varrho_{el}\vec{v} = \sigma_{el} \cdot \vec{E}$
Kontinuitätsgleichung:	$\mathrm{div}\vec{j} = -\frac{\partial}{\partial t}\varrho_{el}(\vec{r}, t)$
Wiedemann-Franzsche Gesetz:	$\frac{\lambda_W}{\sigma_{el}} = \alpha \cdot T$ (Metalle)
Ohmsches Gesetz:	$\vec{j} = \sigma_{el} \cdot \vec{E}, \qquad R = \frac{L}{\sigma_{el} \cdot A} = \varrho_s \cdot \frac{L}{A} = \frac{U}{I}$
Stromleistung (Joul.W.)	$W = q \cdot U, \qquad P = \frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}t} = U \cdot I = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R}$

Kondensatoren		Widerstände
$\frac{1}{C_{ges}} = \sum \frac{1}{C_i}$	Reihenschaltung	$R_{ges} = \sum R_i$
$C_{ges} = \sum C_i$	Parallelschaltung	$\frac{1}{R_{ges}} = \sum \frac{1}{R_i}$

Wechselstrom:

Leistung:	$P_{schein} = U_{eff} \cdot I_{eff}, \quad P_{Wirk} = U_{eff} \cdot I_{eff} \cdot \cos(\varphi), \quad P_{Blind} = U_{eff} \cdot I_{eff} \cdot \sin(\varphi)$
komplexer Widerstand:	$Z = R \cdot e^{\boldsymbol{i} \cdot \varphi} = R \cdot \cos(\varphi) + R \cdot \boldsymbol{i} \cdot \sin(\varphi)$
induktiver Blindwid.:	$Z = \boldsymbol{i} \cdot \omega \cdot L$
kapazitiver Blindwid.:	$Z = \frac{1}{\boldsymbol{i} \cdot \omega \cdot C}$
Phase:	$\tan(\varphi) = \mathrm{Im}(Z)/\mathrm{Re}(Z)$
unbelasteter Trafo	$\frac{U_2}{U_1} = -\frac{N_2}{N_1}$
em. Schwingungsgl.:	$\frac{\mathrm{d}U_e}{\mathrm{d}t} = L \cdot \frac{\mathrm{d}^2 I}{\mathrm{d}t^2} + R \cdot \frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t} + \frac{1}{C} \cdot I$
em. erzwungene Schw.:	
Wirkleistung:	$\langle P_{wirk} \rangle = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_0^2 \cdot R}{R^2 + \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2}$

Resonanzfrequenz: $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{L \cdot C}}$

Hertzscher Dipol:

$\vec{B}$-Feld: $\vec{B}(\vec{r},t) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0 \cdot c^2 \cdot r^3} \cdot \left[(\dot{\vec{p}} \times \vec{r}) + \frac{r}{c} \cdot (\ddot{\vec{p}} \times \vec{r})\right]$

$\vec{E}$-Feld: $E_1(\vec{r},t) \propto \frac{1}{r^2}$

$$\vec{E}_2(\vec{r},t) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\left[-\ddot{\vec{p}}\left(t - \frac{r}{c}\right) \times \vec{r}\right] \times \vec{r} \propto \frac{1}{r}, \qquad |\vec{E}_2| = \frac{\ddot{p}(t-\frac{r}{c}) \cdot \sin(\vartheta)}{4\pi\varepsilon_0 c^2 r}$$

Energie: $w_{em} = \frac{1}{2} \cdot \varepsilon_0 \cdot (E^2 + c^2 \cdot B^2)$

Fernfelder: $B = \frac{1}{c} \cdot E, \quad w_{em} = \varepsilon_0 \cdot E^2, \quad P_{em} \propto \sin^2(\vartheta)$

Elektromagnetische Wellen

Wellengleichung: $\Delta\vec{E} - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2} = 0 \Leftrightarrow \Box\vec{E} = 0, \quad c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \cdot \mu_0}}, \quad \Box\vec{B} = 0$

Ebene Welle entlang $\vec{k}$: $\vec{E}(\vec{r},t) = \vec{E}_0 \cdot \cos(\vec{k} \bullet \vec{r} - \omega \cdot t) = \mathrm{Re}\left(\vec{A}_0 \cdot \exp\left[i(\vec{k} \bullet \vec{r} - \omega \cdot t)\right]\right)$

Wellenzahl: $|\vec{k}| = k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{c}, \quad c = \lambda \cdot f$

Magnetfeld eb. W.: $\vec{B} = \frac{1}{\omega} \cdot (\vec{k} \times \vec{E}), \quad B_y = \frac{k}{\omega} \cdot E_0 \cdot e^{i \cdot (\omega \cdot t - k \cdot z)}$

Intensität: $I(t) = c \cdot \varepsilon_0 \cdot E^2 = c \cdot w_{em}$

Poynting Vektor: $\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} = \varepsilon_0 \cdot c^2 \cdot (\vec{E} \times \vec{B})$

Strahlungsdruck: $p_{st} = c \cdot |\vec{S}|$

stehende em Welle: $\vec{E}(z,t) = 2 \cdot \vec{E}_{0,i} \cdot \sin(k \cdot z) \cdot \sin(\omega \cdot t), \quad \vec{B}(z,t) = 2 \cdot \vec{B}_{0,i} \cdot \cos(k \cdot z) \cdot \cos(\omega \cdot t)$